

V-541 炭素繊維シートにより巻き立て補強されたRC柱の履歴性状について

建設機械化研究所 正会員 篠原 雅人
武蔵工業大学 正会員 皆川 勝
武蔵工業大学 正会員 佐藤 安雄
奈良建設（株） 荒井 忠晴

1. はじめに

本研究では従来RC柱のせん断補強材として用いられてきたり、炭素繊維シート（以後、CFS）を同柱の曲げ補強材として使用することを念頭にCFSの柱基部への定着方法を考案し、RC柱供試体を巻き立て補強し、繰り返し準静的載荷試験を行って補強方法の有効性を調べた。

2. 材料の力学特性

補強に用いたCFSの力学特性を表-1に示す。CFSは、高強度、高弾性を有し、腐食の心配がなく軽量であるという特徴をもち、複雑な形状にも柔軟に対応でき、重機が不要という抜群の施工性をもつことから補強材としての利点を多く有している。

3. 供試体の補強方法

補強前後の供試体の形状、配筋を図-1に、供試体一覧を表-2に示す。既存の研究では、CFSの繊維方向を柱帯鉄筋方向に配置することにより、鋼板接着工法と同様にせん断補強し、変形性能である靱性率を向上させた成果が報告がされている。本研究では、柱基部に定着長をとりCFSの繊維方向を柱主鉄筋方向に配置することで、CFSを補強した場合の補強効果を検討した。補強にあたっては、コンクリートの劣化層を除去、表面を研磨した後、FPプライマーを塗布し、乾燥後不陸修正を行った。その後、常温硬化エポキシ樹脂（以後、樹脂）を塗りCFSを貼り付けその上から樹脂を含浸させた。柱の隅角部では、CFSの強度低下を緩和させ、作用応力がスムーズに伝達するように $R=10\text{mm}$ 以上になる面取りを行った。また、柱軸方向に配置したCFSの基部定着部は、図-1に示すように定着長 100mm 以上を確保し、フーチング基部に固定した。さらに、その基部定着力を向上させるよう、図-2に示すように、B-typeでは厚さ 16mm の鋼板を基部定着部に樹脂により接着し、C-typeではB-type同様に鋼板を接着した後、アンカーボルト2本（許容引張耐力1本当たり 37kN ）を用いて固定した。なお、この鋼板の定着長を決定するにあたって、基部定着部モデル供試体を作成し、引張試験を行った。その結果定着長 100mm の場合が最も耐力が大きいことから、これを柱供試体における定着長とした。なお、フーチングと柱の隅角部はPPモルタルを用いて $R=100\text{mm}$ 以上の勾配を設け、CFSの基部での破断を防いだ。

4. 実験方法

載荷方法は、片持ちばりの先端に死荷重を想定した 91kN の一定軸方向力を載荷した状態で、柱先端での変位を両振りして静的に制御する方法である。用いた試験機は容量 440kN の電気油圧式サーボパルサー型アクチュエータ2機である。変位振幅は、無補強供試体の降伏変位 δ_y を基準とし $0.5\delta_y$ 、 $1.0\delta_y$ 、（以後 $0.5\delta_y$ 刻み）、 $4.0\delta_y$ 、 $6.0\delta_y$ 、 $8.0\delta_y$ 、 $10.0\delta_y$ と変化させ、各3回ずつ載荷した。なお、ここでいう降伏変位とは、無補強供試体の主鉄筋が降伏を開始するときの供試体先端での変位であり、この時の横方向荷重を降伏荷重と呼ぶ。

表-1 CFSの力学特性

	弾性係数 (MPa)	シート厚 (cm)	引張強度 (MPa)	繊維目付 (kg/cm ²)	繊維比重 (kg/cm ³)
CFS	230	0.0167	3479	30	1.8×10^{-3}

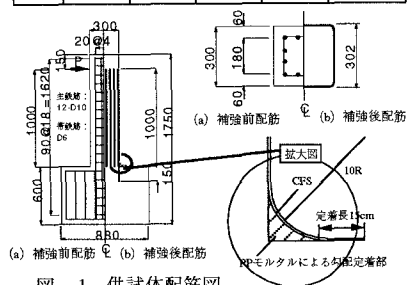


図-1 供試体配筋図

表-2 供試体一覧

供試体 name	CFS 補強枚数	CFS 曲げ末端 定着長	CFS 末端固定		鉄筋比	
			鋼板 有無	アン 有無	補強 前	補強 後
N-type			無	無	0.95	
A-type	1枚	10cm	無	無	0.95	1.17
B-type	1枚	10cm	有	無	0.95	1.17
C-type	1枚	10cm	有	有	0.95	1.17

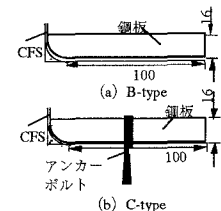


図-2 CFSの基部定着部

5. 実験結果及び考察

3.0 δy までの実験結果より無次元化荷重振幅と載荷回数との関係を図-3に示す。1.0 δy での荷重振幅は、N-typeのそれと比べ2割程度増加している。1.0 δy 以降、A、B-typeの順にそれぞれの荷重振幅が、N-typeのそれに近づいていくのに対し、C-typeのそれは、4割程度増加している。A、B-typeの荷重振幅の減少は、それぞれのCFS末端定着部の剥がれにより、柱基部への定着効果がなくなったためであり、その差はB-typeのCFS末端定着部に用いた鋼板による影響である。C-typeの場合、8.0 δy に至っても定着部は健全であったが、その後定着部のCFSが破断して、N-typeの場合の荷重振幅と同程度まで低下した。

3.0 δy までの履歴荷重-変位曲線より求めた無次元化累積履歴吸収エネルギーと載荷回数との関係を図-4に示す。A及びB-typeの場合、N-typeのそれに比べて20%の増加を示した。C-typeの場合にはばらつきもあるが80%増加したものもあり、アンカーボルトによる定着効果が現れている。

それぞれの供試体の荷重振幅と変位振幅の関係を各印（○，△）

で図-5に示す。靱性率は、主鉄筋の降伏時変位と、降伏後の荷重が降伏時荷重を下回る時の変位の比で定義した。各変位は、実験結果の最小二乗近似により二次曲線を求め、これと弾性域での曲げ剛性から算出した。N-typeの靱性率11.7と比べ、C-type、B-type、A-typeの順にそれぞれの靱性率の低下が大きい。この靱性率の低下は、補強により降伏荷重が増加したにもかかわらず、末端定着部の剥がれにより荷重値が急激に低下し、補強効果を維持できなかったためである。そのため、荷重振幅に対する補強効果の大きいC-typeが最も靱性率の低下が大きくなってしまった。曲げ補強の場合の靱性率の改善のポイントは、末端定着部である。定着部を半剛結結合ととらえ、必要な剛度をコントロールするために、C-typeにおける鋼板の大きさ、アンカーボルトの深さや本数、使用するCFSの枚数等を制御変数とすることが考えられる。

6. まとめ

CFSを定着部に接着した場合（A-type）、定着部に鋼板を接着して定着した場合（B-type）には、それぞれ降伏変位の1.5倍、2.0倍程度の変位載荷で、定着部は剥離し機能なくなる。これに対して鋼板を高力アンカーボルトで柱フーチングに定着した場合（C-type）には、降伏変位の8.0倍の変位で定着部のCFSシートが破断するまで定着部は健全であった。A-typeおよびB-typeの場合に上述の剥離が生じるまでの荷重振幅は、無補強に比べて20%大きい。また、C-typeの場合には、最大で40%程度増加し、耐荷力の顕著な増加を示した。履歴吸収エネルギーは、A-typeおよびB-typeでは、初期の定着部接着の影響で無補強に比べて20%程度増加したのに対し、C-type場合最大で80%程度増加した。靱性については、C-typeの定着部を半剛結結合ととらえ必要な剛度をコントロールすることで改善できると考えられる。

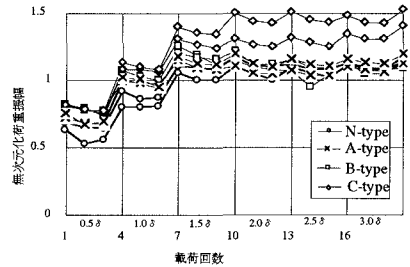


図-3 無次元化荷重振幅-載荷回数関係

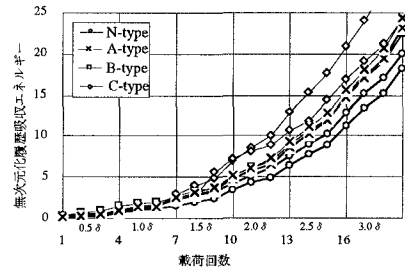


図-4 履歴吸収エネルギー-載荷回数関係

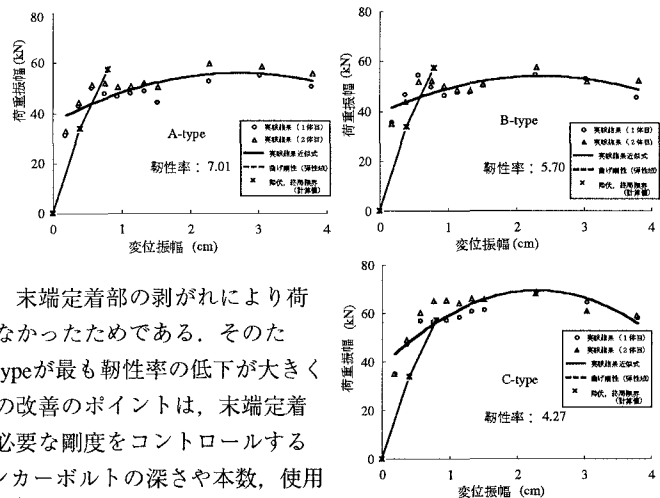


図-5 荷重振幅-変位振幅関係